



TITLE:

A COUPLED HYDROLOGICAL —  
GEOTECHNICAL FRAMEWORK FOR  
FORECASTING SHALLOW LANDSLIDE  
HAZARD( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

NGUYEN, DUC HA

---

CITATION:

NGUYEN, DUC HA. A COUPLED HYDROLOGICAL — GEOTECHNICAL FRAMEWORK FOR  
FORECASTING SHALLOW LANDSLIDE HAZARD. 京都大学, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-11-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k22125>

RIGHT:

許諾条件により本文は2020-10-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	NGUYEN DUC HA
論文題目	A COUPLED HYDROLOGICAL - GEOTECHNICAL FRAMEWORK FOR FORECASTING SHALLOW LANDSLIDE HAZARD（水文学と地盤工学の手法を融合した表層崩壊の発生予測に関する研究）		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、豪雨による表層崩壊の発生を、地盤工学と水文学のアプローチを組み合わせることにより、物理的に予測する手法を開発したものであり、全体で6章から構成されている。</p> <p>第1章は序論であり、斜面災害の危険性と発生機構による分類を説明している。また、これまでの地盤工学的、水文学的な予測手法をレビューしたうえで、本研究の目的を明示している。</p> <p>第2章は、ベトナム国ハロン市の対象流域における地理的特徴や使用データについて説明している。対象流域では2015年7月の豪雨によって斜面災害が発生した。発災後の現地調査によって、透水性の異なる砂質土壌と粘土質土壌との境界面で表層崩壊が発生していることを明らかにしている。また、流域内の12か所で計測した土壌厚と地形勾配との関係に基づいて、流域全体の土壌厚分布を推定している。</p> <p>第3章は、ICL-2を用いたリングせん断試験、表層崩壊の発生・流動過程を再現するLS-RAPIDモデル、降雨流出と洪水氾濫を解析するRRIモデルを説明したうえで、それらの手法を組み合わせた表層崩壊の発生予測法を提案している。具体的には、LS-RAPIDモデルに必要な土壌パラメータ（内部摩擦角、過剰間隙水圧比、粘着力など）を非排水条件のリングせん断試験によって推定し、LS-RAPIDモデルを2mの空間分解能で適用する。同モデル内で間隙水圧比を0.0～0.51の範囲で変えることにより、崩壊する危険性のある斜面と当該斜面が崩壊するときの間隙水圧比(<math>r_uT</math>)を推定する。一方、RRIモデルも同じ分解能で適用し、降雨を入力して飽和側方流の水深から間隙水圧比(<math>r_u</math>)の時空間分布を推定する。各崩壊危険斜面で崩壊リスク(<math>r_u/r_uT</math>)が1に近づけば、当該斜面の崩壊危険性が高まるという予測手法を提案している。</p> <p>第4章は、提案手法をハロン市の対象流域に適用し、以下の5項目の結果を示している。1) ICL-2による非排水リングせん断試験の結果、2) LS-RAPIDによる流域内の斜面崩壊発生危険箇所及び堆積箇所の特定結果、3) 飽和側方流の水深を対象にしたRRIモデルの同定結果、4) 流域内の最大浸水深に関するRRIモデルと現地調査結果との比較、5) 2015年7月の豪雨に伴う崩壊リスクの時間的变化と発生した斜面崩壊との比較である。以上から、対象流域内に6か所の崩壊危険箇所があることを見出し、間隙水圧比が0.15を超えると、6か所のうち一つの斜面で崩壊する可能性があることを明らかにしている。さらに、2018年7月から12月に現地で計測した不圧地下水をRRIモデルが妥当に再現できることを示すとともに、約2週間の無降雨期間後にはモデルが地下水位を過大評価する問題も指摘している。これはRRIモデルで鉛直不飽和浸透を陽に反映していないことが主な原因であると考察している。さらに、同定したRRIモデルとLS-RAPIDモデルの結果を組み合わせることにより、2015年7月の豪雨によって崩壊した斜面のリスク指標が期間中に1を超えていたこと、その他の小規模な崩壊斜面でもリスク指標が</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	NGUYEN DUC HA
<p>1 に近づいていたことを示している。</p> <p>第 5 章は、上記の基礎検討をもとに開発した早期警戒システムについて説明している。このシステムは、気象観測のテレメータシステムから降雨情報をリアルタイムで入手し、1 時間ごとに RRI モデルを実行するとともに、降雨予測情報をモデルに入力して、間隙水圧比の空間分布を時々刻々予測するものである。この結果と事前に推定した崩壊危険斜面の <math>r_u T</math> から同上リスク指標を推定し、その結果を WebGIS 上で可視化する。このシステムによる斜面崩壊の予測結果は、オンラインで確認することができて、ベトナムの州政府が進めるプロジェクトとしても位置付けられている。</p> <p>第 6 章は、結論であり、本論の主要な結論をまとめ、今後の課題を記述している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、豪雨による表層崩壊の発生を、地盤工学と水文学の両方のアプローチを組み合わせ、物理的な機構に基づいて予測する方法を提案したものである。ベトナム国ハロン市の流域を対象に、現地調査、リングせん断試験、表層崩壊の発生・流動過程を再現する数値解析 (LS-RAPID モデル)、降雨から流出・氾濫過程を流域一体的に解析する数値解析 (RRI モデル) を適用し、それらの手法を組み合わせ、表層崩壊の発生を物理的に予測する方法を提案している。また、提案手法を WebGIS 上で実装した早期警戒システムを開発し、以下のような研究成果を得ている。

(1) 2015 年 7 月の斜面災害を対象にしたモデル検証の結果、流域内の 3 つの斜面 (計 6 か所) が崩壊危険斜面として特定され、うち実際に 3 か所で崩壊したことが確認された。また、モデルの変数である間隙水圧比を 0.0~0.51 の範囲で変えながら解析し、間隙水圧比が 0.15 を超えると、順次崩壊が始まること、豪雨期間中に上記の 3 か所の崩壊斜面でリスク指標が 1 を超えるか、それに近づいていたことを明らかにした。さらに、リングせん断試験の結果に基づき、当該地域の砂質土壌が高速で崩壊し、崩壊土壌が長距離にわたって流動する傾向を明らかにした。

(2) 間隙水圧比の時空間分布を追跡するために、分布型流出モデルの一つである RRI モデルを活用した。同モデルは、土層を流れる側方流を計算するが、これまでのモデル適用では流域下端の流量による検証が主であった。本研究では、間隙水圧比の再現性を検証するために崩壊した斜面を対象に土層中の不圧地下水の変動を計測して、RRI モデルが地下水位の変動を適切に再現できることを明らかにした。また RRI モデルが示す流域下流部の浸水域において、最大浸水深の情報を 5 地点で入手し、モデルによる計算結果と比較して、その再現性を明らかにした。

(3) LS-RAPID モデルと RRI モデルの効率的な結合手法を提案した。具体的には、RRI モデルで間隙水圧比の時系列を推定し、その時空間分布から事前に計算した LS-RAPID モデルの出力結果 (表層崩壊の発生域や移動範囲) と比較する方法を採用した。これにより、事前に特定した斜面の危険度を間隙水圧比の変化で推定し、その閾値と比較することでリスクを計算することができるようになった。さらに、これらの基礎検討をもとに、WebGIS システムを活用した早期警戒システムを開発した。このシステムは、上記の実験やモデルを適用することで、他の地域にも展開できる発展性を有する。

以上のように、本論文は、豪雨による表層崩壊のリアルタイム予測を目的として、地盤工学と水文学のアプローチを統合した、物理的な予測手法を提案、検証したものである。提案した手法をオンラインの WebGIS システムに実装するなど、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年 10 月 18 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。